

信息融合技术在情绪识别领域的研究展望

党宏社, 郭楚佳[†], 张娜

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: 简要介绍目前几种基于不同数据源的情绪识别方法和信息融合技术基础, 为工程技术人员提供一定的理论背景。对多源信息融合领域的情绪识别现状进行了分类介绍, 说明和分析了基于多源信息融合的情感识别存在的问题, 简述了其在情绪识别领域的应用前景。

关键词: 情绪识别; 信息融合技术; 综述

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2013)12-3536-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.004

Research progress of emotion recognition in information fusion

DANG Hong-she, GUO Chu-jia[†], ZHANG Na

(Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: This paper presented several short introductions to emotion recognition methods based on different data sources and status quo of information fusion technology, which provided the engineer with the background of psychology knowledge. Then it introduced multi-source information fusion emotion recognition status quo, described and analyzed the problems of emotion recognition based on multi-source information fusion. At last it showed the application prospects and presented development of recent research.

Key words: emotion recognition; information fusion; review

情绪是一种综合了人的感觉、思想和行为的状态。情绪识别在心理学研究、安全驾驶、犯罪测谎、远程教育、公共场合安全监控、电脑游戏、临床医学、人类精神病理分析等领域有着重要的影响和需求。人们对情绪以及情绪识别的研究始于20世纪90年代, 1990年美国MIT媒体实验室构造了一个情绪编辑器, 对外界各种情绪信号进行采样, 如人的语音信号、脸部表情信号等来识别情绪^[1]; 1997年MIT媒体实验室Picard教授提出了情绪计算的概念^[2]。中科院自动化所等单位于2010年在武汉举办了国际情绪计算及智能交互学术会议; 国际学术组织IEEE也创办了情绪计算专刊《IEEE Transactions on Affective Computing》^[3]。情绪的自动识别是实现人机交互的关键技术之一^[4], 目前的研究主要集中在情绪建模和情绪识别方法的研究两大领域。

1 基本的情绪识别方法

任何情绪的产生都伴随着身体上的某些变化, 如面部表情、肌肉紧张、内脏活动等。利用这些信号的变化直接进行情绪识别就是所谓的基本识别方法, 也称做单模态情绪识别方法, 目前的主要方法包括面部图像、语言、文本、姿态和生理信号等。

1) 基于面部表情图像的情绪识别

面部表情识别方法的依据是在特定的情绪状态下人们会产生特定的表情模式^[5]。基于模板^[6,7]和利用神经网络^[8]两类方法都是静态图像表情识别中最常见的途径, 但由于是单幅图片识别, 识别率必然不高。基于动态图像序列这类方法考虑

了表情图像的运动信息, 基于区域的光流模型^[9,10]和基准光流算法^[11]都可从复杂背景和多姿态表情序列中有效地获得运动场信息。在基于图像的情绪识别中, 尽管在实际应用中图像样本易于采集, 但实验样本多数情况下会与实际生活中人类多变、细微的自然表情不一致, 这会大大影响这类方法的实际应用能力。

2) 基于语音信号的情绪识别

言语是人类特有的表达情绪的重要手段^[12], 基频、时长、音质和清晰度等声学参数是情绪语音的主要特征量^[13]。建立情绪语音数据库^[14], 不断提取新的语音特征量^[15]是语音情绪识别的基本方法。支持向量机和基于D-S证据理论^[16]也可作为语音情绪特征提取的方法。

语音信号的个体差异比较明显, 需要建立庞大的语音库, 这会给识别带来一定难度。严格地说, 要更好地识别说话者的情绪, 一定要考虑说话的内容, 这就涉及更加复杂的自然语言理解问题。

3) 基于文本的情绪识别

文本情绪分析在研究过程中可以分为词语、句子、篇章三个级别^[17]。基于词语的方法主要是分析情绪特征词, 根据阈值判断词语极性^[18]或者计算词汇语义的相似度^[19]; 基于句子的方法是对每个句子采样情绪标签^[20], 抽取评价词语或者获取评价短语进行分析^[21]; 基于篇章的方法是在句子情绪倾向分析的基础上进行篇章的整体情绪倾向性分析。

在基于文本的情绪识别中, 比较依赖情绪特征词的选择,

收稿日期: 2013-04-15; 修回日期: 2013-05-28

作者简介: 党宏社(1962-)男, 陕西武功人, 教授, 博士, 主要研究方向为工业过程控制与优化、多源信息融合、智能交通系统; 郭楚佳(1989-)女(通信作者), 陕西西安人, 硕士, 主要研究方向为智能交通系统(a360922608@163.com); 张娜(1989-)女, 陕西榆林人, 硕士, 主要研究方向为模式识别。

建立语料库^[22]虽然可以给每个词语贴定情感标签,但是许多词语有多种释义,建立语料库时就必须考虑这些问题。许多新兴词汇的出现,也会大大干扰文本情绪倾向识别的准确性。

4) 基于人体姿态的情绪识别

人的肢体运动特征中包含有丰富的情绪信息^[23]。基于人体姿势的情绪识别主要是提取身体各种情绪状态下的典型样例,对每个姿势进行判别分析出相近情绪的细微差别,建立特征库^[24-25]。基于人体运动特性的情绪识别主要是根据人体动作的持续时间、频率等运动性质作为评判依据,从中提取物理运动信息来进行识别^[26]。

许多姿势或动作都不具备明显的情绪特征,在识别过程中往往不能进行全面的分辨,因而这种方法具有较大的局限性,多数基于人体的情绪识别是与其他信号相融合进行的^[27]。

5) 基于生理信号的情绪识别

生理变化很少受人的主观控制,因而应用生理信号进行情绪识别所获得的结果更加客观。情绪的生理机制包括情绪感知(脑电)和情绪的身体生理反应(心电、心率、肌电、皮肤电反应、呼吸、血管压力等)。情绪感知是情绪的主要产生机制,通过脑电信号可以反映大脑的不同生理反应,由于其信号的特殊性,可以通过时域^[28-29]、频域^[30]和时频域^[31-33]三种特征进行识别,另外时频均谱熵值^[34]、分形维数等都可作为衡量脑部活动的特征量。

尽管生理信号携带着准确的情绪信息,但是信号强度十分微弱,如在采集心电信号时,会存在较大的肌电电位干扰,所以在提取过程中要求较高。而在实际中干扰源非常多,因此很难有效地去除生理信号中的伪迹。这类方法大多局限于实验室研究,在实际的情绪识别应用中还没有足够的应用条件。

2 信息融合技术

多源信息融合就是对多源信息进行综合处理,通过对多方面的信息有规则的组合进而推导出更多有价值的信息,这个过程不是简单的输入输出,而是各类信息相互作用的结果,从而得出更为准确、可靠的结论。近年来,信息融合技术得到前所未有的发展,学术界每年都举办各种类型的有关信息融合的会议,如美国三军信息融合年会、SPIE 传感器融合年会、国际机器人和自动化会刊以及 IEEE 的相关会议和会刊等。

2.1 信息融合分类

信息融合按数据抽象的层次来分,可分为以下三类:

a) 数据级融合,是直接对传感器的观测数据进行融合处理,然后基于融合后的结果进行特征提取和判断决策。数据级融合的精度高,但由于数据量大,处理的时间长、抗干扰能力差,并且要求传感器是同类的。

b) 特征级融合,是先由每个传感器抽象出自己的特征向量,融合中心完成特征向量的融合处理。这种融合级别实现了可观的数据压缩,有利于实现实时处理,但却损失了一部分有用信息,使融合性能有所降低。

c) 决策级融合,是先由每个传感器基于自己的数据作出决策,然后由融合中心完成局部决策的融合处理。这种级别的融合数据损失量大,相对来讲精度低,但抗干扰能力强,对传感器依赖小,不要求同质传感器,融合中心处理代价较低。

2.2 信息融合方法

信息融合的常用方法可概括为随机和人工智能两大类。

随机类算法包括加权平均法、卡尔曼滤波法、多贝叶斯估计法、证据推理等。这类算法是对原始数据或者其概率分布进行处理,信息损失及计算量都较少,但是需要获得较多的先验知识或准确的计算模型,适用条件较为苛刻。人工智能类算法则有模糊逻辑理论、神经网络、粗糙集理论、专家系统等。这类算法对对象的先验知识要求不高或无要求,有较强的自适应能力,但是计算量较大,规则建立较难或者学习时间长。

3 基于多源信息的情绪识别方法

近年来,随着多源异类信息融合处理领域的发展,可以将来自多类别参考情绪状态的特征进行融合。利用不同类别的信号相互支持,通过对互补信息进行融合处理,信息处理质量并不是对多个数据源的简单折中平衡,而往往比任何成员都要好,可以得到很大改善。在2005年首届国际情绪计算及智能交互学术会议中,就涉及了情绪多模态分析这一概念。因此,人们开始利用人脸表情、语音、眼动、姿态和生理信号等多个通道的情绪信息之间的互补性来研究识别问题,即基于多模态的情绪识别^[35]。多模态信息融合识别相对于单一信号识别,无疑是可以提高识别准确率的。为了提高情绪的识别率和识别的鲁棒性,有必要根据不同的应用环境选择不同的数据源;针对不同的数据源,采用有效的理论和方法,研究高效、稳定的情绪识别算法等,这些也是该领域未来研究的热点。

3.1 多源信息情绪识别方法

1) 基于视听觉的情绪识别

最常见的多模态识别方法是基于视、听觉的方法,这两类特征获取信息比较方便,同时语音情绪识别与人脸表情识别在识别性能上具有互补性^[36],所以最为普遍。日本振兴学会支持的跨文化多模态感知研究中,关注的就是情绪表达时面部表情和情绪声音的关系^[37]。文献[38]在双模态情绪识别中,自适应地调整语音和人脸动作特征参数的权重,该方法对于情绪识别率达84%以上。在文献[39-40]中,将视觉和听觉作为输入状态,在状态层进行异步约束,这种融合方法分别将识别率提高了12.5%和11.6%。

2) 基于多生理信号的情绪识别

多生理信号融合也有大量应用,在2004年, Lee 等人^[41]就利用包括心率、皮肤温度变化、皮肤电活动在内的多生理信号对人们的压力状态进行监视。文献[42-43]主要从心电、心率信号提取有用的特征进行种类识别。吴雪奎等人^[44]将心电、呼吸、体温三种生理信号进行特征提取和特征分类。Canentol 等人^[45]将心电、血容量脉冲、皮肤电活动、呼吸等多种情绪生理特征相结合进行情绪识别。Wagner 等人^[46]通过融合肌动电流、心电、皮肤电阻和呼吸四个通道的生理参数获得了92%的融合识别率。文献[47]中通过多生理信号融合,将识别准确率从30%提高到了97.5%。

3) 基于语音心电结合的情绪识别

在语音和心电结合方面,文献[48]利用加权融合和特征空间变换的方法对语音信号与心电信号进行融合。基于心电信号和基于语音信号的单模态情绪分类器获得的平均识别率分别为71%和80%,而多模态分类器的识别率则达到90%以上。

4) 其他特征融合的情绪识别

其他的特征组合还有很多,如 Hoch 等人^[49]通过融合语音与表情信息,在车载环境下进行了正面、负面与平静等三种情

绪状态的识别。上海交通大学的顾冠^[50]对面部、肢体双模态情绪认知研究进行了探索。Kapoor 等人^[51]在儿童游戏的环境下,根据面部表情特征、身体姿势及上下文信息来推导儿童的兴趣水平,情绪识别精度是 86%;Scherer 等人^[52]采集了面部表情、语音和身体姿势三个通道的特征,识别率达到了 79%。Castellano 等人^[53]利用检测面部表情、语音和手势进行识别,识别率达到了 78.3%;Diego 等人^[54]通过神经网络对面部表情、声音和语义三个输入进行训练,平均识别率达到 75%,如果单是声音和面部图像,识别率仅为 65% 和 20%。

3.2 目前存在的主要问题

目前大多数的情绪识别研究依旧采用单一特征识别,真正实现多模态情绪识别的系统还较少,这些系统一般都只能在特定的实验环境下进行运转,还不能实现在线识别,不能满足识别过程中准确性和鲁棒性方面的要求。

1) 情绪反应的个体差异

情绪刺激反应存在着个体差异,同一个体在不同情况下都会对同一刺激产生不同的情绪响应,单模态情绪识别存在较大的不确定性,得出的结论往往过于武断;多模态情绪识别无疑可以提高个体差异下的识别率。但是,如何从这种差异之间寻找稳定的情绪与各种信号特征的对应关系,从而消除目前研究中所发现的信号特征个体差异性所带来的影响,是目前情绪识别急需解决的一个具有挑战性的问题。

针对这个问题,可在实际应用过程中由参与识别的人员进行系统的个性化训练,对于不能很好识别的个人情绪特征不能简单地将它们认定为不具备特征识别能力的信息而予以剔除。这种情况传递了一个非常有用的个人情绪特征提取信息,则被标定为“剔除的”情绪特征是对个人情绪状态的个性化表征。在已有特征对个人情绪状态的表征能力不强时,提取一些已有方法所没有采用的特征量,用于丰富特定人员个人情绪状态识别情绪特征库,增强用于个性化情绪状态识别的情绪特征的表征能力,从而减少情绪反应的个体差异所带来的干扰。

2) 多源信息的实时获取

在实际的情绪识别过程中,如何快速准确地采集信号是一个关键问题。例如,生理信号十分微弱,采集设备大都体积庞大,需要高效的去噪处理及前置放大,根本无法满足在线实时检测的条件。近几年虽然出现了一些电子采集芯片,但是价格都比较昂贵,也不适用于大范围使用。

对于大多在线情绪识别问题,心电信号、脑电信号和人脸面部表情图像就可以很好地构成多源异类数据源,其中心电信号为来自自主神经系统的生理信号,脑电信号为来自中枢神经系统的生理信号,而人脸面部表情图像则为非生理信号。但是考虑到被测者在工作过程中的实际状况,大多无法用接触式的方式在线动态获取其心电信号和脑电信号,从而减少了获取个人情绪状态的两个测量源,这无疑是对实施多源信息融合的一个挑战。怎样便捷地获取多源信息,是多模态情绪识别研究中的一个瓶颈问题。

3) 多源信息匹配算法

现阶段真正实现了的利用多个参数的情绪识别系统还较少,多源信息匹配方法多是全面采集异类信息,通过一定的融合算法再在识别结果层面进行融合。这些系统一般都只能在特定的实验环境下进行简单的情绪识别,大多数的情绪识别系统为了提高识别率,在设计过程中尽可能获取用户的各种特

征,带来最直接的问题就是系统中存在高维特征,导致维数灾难,从而显著降低了识别的效率^[55]。

对于许多情绪状态在线识别问题,由于实际情况的限制,许多有用的特征量并不能很好地进行准确采集,故而已有的融合处理方法并不适用。因此,可以利用多元信息融合来训练改进已有特征库中特征的提取,而不是像已有方法那样基于多个数据源在识别结果层面进行融合。这种基于多源信息融合手段提取识别特征的方法,充分考虑了实时情绪状态在线识别的特殊性,有望开辟解决实时在线情绪状态识别的一条新的途径。

4 结束语

情绪识别是一个高度综合和复杂的研究领域,涉及神经科学、心理学、认知科学、计算机科学和人工智能等多个领域,通过机器学习理论与认知科学、心理科学的结合,研究人与人交互的情绪表达的特征,找寻到其内在真实的或统计意义上的规律,将有可能实现人与计算机和谐的情绪交互。情绪识别研究有大量成果,但是由于人类情绪的多样性以及生理、行为等与情绪的复杂关系,以及多模态情绪识别存在的大量问题,情绪识别依旧面临许多问题。不断优化情绪识别方法,开发舒适可穿戴情绪识别仪器,找出不同类型信号之间的融合算法,以及建立能够更准确地识别情绪状态的系统,都是将情绪识别技术真正应用于现实世界需要进一步开展的工作。

参考文献:

- [1] CHENNOUKH S, GERRITS A, MIET G, *et al.* Speech enhancement via frequency bandwidth extension using line spectral frequencies [C] // Proc of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001: 665-668.
- [2] PICARD R W. Affective computing [M]. Cambridge: The MIT Press, 1997.
- [3] GÖKCAY D, YILDIRIM G. Affective computing and interaction: psychological, cognitive and neuroscientific perspectives [M]. Hershey: IGI Global, 2010.
- [4] 孙蔚, 王波. 人脸表情识别综述 [J]. 电脑知识与技术, 2012, 8(1): 106-108.
- [5] 马飞, 刘红娟, 程荣花. 基于人脸五官结构特征的表情识别研究 [J]. 计算机与数字工程, 2011, 39(9): 111-113.
- [6] 高晓兴, 王文佳, 李仁睦. Gabor 小波与表情组合模板相结合的表情识别 [J]. 微计算机信息, 2010, 26(2): 10-12.
- [7] 梁路宏, 艾海舟, 徐光祜, 等. 人脸检测研究综述 [J]. 计算机学报, 2002, 25(5): 449-458.
- [8] 苏超, 肖南峰. 基于集成 BP 网络的人脸识别研究 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29(11): 4334-4341.
- [9] MASE K. Recognition of facial expression from optical flow [J]. IEICE Trans on Information and Systems, 1991, 74(10): 3474-3483.
- [10] YACOOB Y, DAVIS L. Recognizing human facial expressions from long image sequences using optical flow [J]. Pattern Analysis and Machine, 1994, 6(6): 636-642.
- [11] McCANE B, NOVINS K, CRANNITCH D, *et al.* On benchmarking optical flow [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2001, 84(2): 126-143.
- [12] 高慧, 苏广川, 陈善广. 不同情绪状态下汉语语音的声学特征分析 [J]. 航天医学与医学工程, 2005, 18(5): 350-354.
- [13] CAHN J E. The generation of affect in synthesized speech [J]. Journal of the American Voice I/O Society, 1990, 8(1): 1-19.
- [14] 毛峡, 陈立江. 汉语语音情感信息的提取及建模方法: 中国, 200810104541.3 [P]. 2008-04-21.

- [15] MAO Xia ,CHEN Li-jiang. Speech emotion recognition based on parametric filter and fractal dimension[J]. *IEICE Trans on Information and Systems* 2010 ,E93-D(8) : 2324-2326.
- [16] 陆捷荣,詹永照,毛启容. 基于 D-S 证据的多语段融合语音情感识别[J]. *计算机工程* 2010 ,36(18) : 205-207.
- [17] 魏释,向阳,陈干. 中文文本情绪分析综述[J]. *计算机应用* 2011 ,31(12) : 3321-3323.
- [18] KIM S M ,HOVY E. Determining the sentiment of opinions[C]//Proc of the 20th International Conference on Computational Linguistics. 2004: 1367-1373.
- [19] 葛斌,李芳芳,郭丝路,等. 基于知网的词汇语义相似度计算方法研究[J]. *计算机应用研究* 2010 ,27(9) : 3319-3333.
- [20] 孙艳,周学广,付伟. 基于主题情感混合模型的无监督文本情感分析[J]. *北京大学学报:自然科学版* 2013 ,49(1) : 102-108.
- [21] 倪茂树,林鸿飞. 基于关联规则和极性分析的商品评论挖掘[C]//第三届全国信息检索与内容安全学术会议论文集. 2007: 628-634.
- [22] 吴琼,谭松波,程学旗. 中文情感倾向性分析的相关研究进展[J]. *信息技术快报* 2010 ,8(4) : 16-38.
- [23] De GELDER B. Towards the neurobiology of emotional body language [J]. *Nature Reviews Neuroscience* 2006 ,7(3) : 242-249.
- [24] SHAARANI A S ,ROMANO D M. Perception of emotions from static postures [C]//Proc of Affective Computing and Intelligent Interaction. Berlin: Springer-Verlag 2007: 761-762.
- [25] De SILVA P R ,BIANCHI-BERTHOUE N. Modeling human affective postures: an information theoretic characterization of posture features [J]. *Journal of Computer Animation and Virtual Worlds* 2004 ,15(3-4) : 269-276.
- [26] KAPUR A ,VIRJI-BABUL N ,TZANETAKIS G ,et al. Gesture-based affective computing on motion capture data [C]//Proc of the 1st International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction. 2005: 1-7.
- [27] 丁一,付弦. 基于人体运动跟踪的情感识别研究[J]. *电脑知识与技术* 2011 ,7(11) : 2649-2651.
- [28] KHALILI Z ,MIRADI M H. Emotion recognition system using brain and peripheral signals: using correlation dimension to improve the results of EEG [C]//Proc of International Joint Conference on Neural Networks. Piscataway: IEEE Press 2009: 1920-1924.
- [29] ZHANG Qing ,LEE M. A hierarchical positive and negative emotion understanding system based on Integrated analysis of visual and brain signals [J]. *Neurocomputing* 2010 ,73(16-18) : 3264-3272.
- [30] ZOURIDAKIS G ,PATIDAR U ,PADHYE N S ,et al. Spectral power of brain activity associated with emotion: a pilot MEG study [C]//Proc of the 17th International Conference on Biomagnetism. Berlin: Springer-Verlag 2010: 354-357.
- [31] LIN Yuan-pin ,WANG Chi-hong ,JUNG T P ,et al. EEG-based emotion recognition in music listening [J]. *IEEE Trans on Biomedical Engineering* 2010 ,57(7) : 1798-1806.
- [32] MURUGAPPAN M ,RIZON M ,NAGARAIAH R ,et al. Time-frequency analysis of EEG signals for human emotion detection [C]//Proc of the 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering. Berlin: Springer-Verlag 2008: 262-265.
- [33] 聂聃,王晓群,段若男,等. 基于脑电的情绪识别研究综述[J]. *中国生物医学工程学报* 2012 ,31(4) : 595-606.
- [34] 张雪燕,冯姚震,马敏飞,等. 脑电信号的分析和监测[J]. *计算机技术与应用* 2011 ,37(1) : 128-131.
- [35] ZENG Z ,PANTIC M ,ROISMAN G I ,et al. A survey of affect recognition methods: audio , visual and spontaneous expressions [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence* ,2009 ,31(1) : 39-58.
- [36] BUSSO C ,DENG Zhi-gang ,YILDRIM S ,et al. Analysis of emotion recognition using facial expressions ,speech and multimodal information [C]//Proc of the 6th International Conference on Multimodal Interfaces. New York: ACM Press 2004: 205-211.
- [37] 李爱军,邵鹏飞,党建武. 情感表达的跨文化多模态感知研究[J]. *清华大学学报:自然科学版* 2009 ,49(1) : 1393-1401.
- [38] 黄力行,辛乐,赵礼悦,等. 自适应权重的双模态情感识别[J]. *清华大学学报:自然科学版* 2008 ,48(1) : 715-719.
- [39] 张晓静,蒋冬梅,FAN Ping,等. 基于改进异步 DBN 模型的听视觉融合情绪识别 [EB/OL]. (2013-03-13). <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20130313.0946.009.html>.
- [40] 吕兰兰,蒋冬梅,王凤娜,等. 基于三流 DBN 模型的听视觉情绪识别[J]. *计算机工程* 2012 ,38(5) : 161-162.
- [41] LEE M H ,YANG G ,LEE H K ,et al. Development stress monitoring system based on personal digital assistant (PDA) [C]//Proc of the 26th Annual International Conference on Engineering in Medicine and Biology Society. 2004: 2364-2367.
- [42] HE Lin ,HOU Wen-sheng ,ZHEN Xiao-lin ,et al. Recognition of ECG patterns using artificial neural network [C]//Proc of the 6th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Washington DC: IEEE Computer Society 2006: 477-481.
- [43] GHONGADE R ,GHATO A A. Performance analysis of feature extraction schemes for artificial neural network based ECG classification [C]//Proc of International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications. Washington DC: IEEE Computer Society 2007: 486-490.
- [44] 吴学奎,任立红,丁永生,等. 面向智能服装的多生理信息融合的情绪判别[J]. *计算机工程与应用* 2009 ,45(33) : 218-221.
- [45] CANENTOL F ,SILVAL H ,FRED A. Applicability of multi-modal electrophysiological data acquisition and processing to emotion recognition [C]//Proc of the 2nd International Workshop on Computing Paradigms for Mental Health. 2012: 59-70.
- [46] WAGNER J ,KIM J ,ANDRE E. From physiological signals to emotions: implementing and comparing selected methods for feature extraction and classification [C]//Proc of IEEE International Conference on Multimedia & Expo. 2005: 940-943.
- [47] CANENTO F ,FRED A ,SILVA H ,et al. Multimodal bio signal sensor data handling for emotion recognition [J]. *Sensors* 2011 (10) : 647-650.
- [48] 黄程伟,金赞,王青云,等. 基于语音信号与心电信号的多模态情感识别[J]. *东南大学学报:自然科学版* 2010 ,40(5) : 895-900.
- [49] HOCH S ,ALTHOF F ,McGLAUN A ,et al. Bimodal fusion of emotional data in an automotive environment [C]//Proc of IEEE International Conference on Acoustics ,Speech ,and Signal Processing. 2005: 1085-1088.
- [50] 顾冠. 情绪面孔和情绪肢体语言交互认知的神经电生理研究 [D]. 上海:上海交通大学 2012.
- [51] KAPOOR A ,PICARD R W. Multimodal affect recognition in learning environments [C]//Proc of the 13th Annual ACM International Conference on Multimedia. New York: ACM Press 2005: 677-682.
- [52] SEHERER K ,ELLGRING H. Multimodal expression of emotion: affect programs or componential appraisal patterns [J]. *Emotion* ,2007 ,7(1) : 158-171.
- [53] CASTELLANO G ,KESSOUS L ,CARIDAKIS G. Emotion recognition through multiple modalities: face ,body gesture ,speech [C]//Affect and Emotion in Human-Computer Interaction. Berlin: Springer-Verlag 2008: 92-103.
- [54] CUEVA D R ,GONCALVES R A M ,COZMAN F ,et al. Crawling to improve multimodal emotion detection [C]//Advances in Soft Computing ,vol 7095. Berlin: Springer-Verlag 2011: 343-350.
- [55] 程静,刘光远. 学科交叉视角下的情绪识别研究进展[J]. *计算机科学* 2012 ,39(5) : 19-24.